

⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑪ DE 3808331 C2

⑮ Int. Cl. 5:
H02K 7/09
F 16 C 32/04

⑲ Aktenzeichen: P 38 08 331.0-32
⑳ Anmeldetag: 12. 3. 88
㉑ Offenlegungstag: 28. 9. 88
㉒ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 29. 3. 89

DE 3808331 C2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

㉓ Patentinhaber:
Kernforschungsanlage Jülich GmbH 5170 Jülich, DE

㉔ Teil in: P 38 44 563,8

㉕ Erfinder:
Fremerey, Johan K., Dr., 5300 Bonn, DE

㉖ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 34 09 047 A1

㉗ Magnetische Lagerung für einen Rotor mit Permanentmagneten zur Aufnahme der radialen Lagerkräfte

DE 3808331 C2

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine magnetische Lagerung für einen Rotor mit Permanentmagneten zur Aufnahme der radialen Lagerkräfte und mit einem Stabilisierungslager, wie sie im Oberbegriff des Patentanspruches 1 angegeben ist.

Magnetlager dieser Art sind aus US-PS 39 29 390 und Journal of Spacecraft, Band 17, No. 2, 1980, S. 93-98, bekannt. Bei diesen Magnetlagern sind an beiden Rotorenden ringförmig ausgebildete Permanentmagnete angebracht, die mit am Stator befestigten Ringmagneten in der Weise zusammenwirken, daß auf den Rotor bei radialer Auslenkung eine radiale Zentrierkraft ausgeübt wird. Gleichzeitig entsteht in axialer Richtung eine Kraftinstabilität durch die Permanentmagnete. Diese Kraftinstabilität wird durch eine in der Mitte des Rotors angebrachte, axial wirkende elektromagnetische Ablenkzelle ausgeglichen, die mit elektrischen Steuerströmen entsprechend der jeweiligen axialen Abweichung des Rotors von seiner axialen Sollposition beaufschlagt wird. Die Abweichung wird mittels eines berührungsfreien Sensorsystems erfaßt, welches den die Ablenkzelle durchfließenden Steuerstrom über einen entsprechenden elektronischen Verstärker regelt. Auf beiden Seiten der Ablenkzelle sind in unmittelbarer Nähe der an den Rotorenden angebrachten Permanentmagnete mit dem Stator fest verbundene Kupferscheiben angebracht, die mit am Rotor befestigten Permanentmagneten in der Weise zusammenwirken, daß radiale Vibrationen des Rotors gedämpft werden. Dagegen werden in einer aus DE-A 34 09 047 bekannten magnetischen Lagerung für diejenigen permanentmagnetischen Lagerelemente, die die radiale Zentrierung des Rotors bewirken, die Positionen beidseitig des Rotorschwerpunkts im wesentlichen beibehalten, während die Ablenkzelle an das Ende der Rotorwelle außerhalb der permanentmagnetischen Rotorlager gelegt ist. Die Ablenkzelle enthält dabei mehrere am Rotor befestigte Permanentmagnete, die mit einer am Stator angebrachten Kupferplatte eine Wirbelstromdämpfung für radiale Vibrationen des Rotors bewirken.

Nachteil der vorbeschriebenen Magnetlagerungen ist, daß während des Betriebes solcher Lagerungen auftretende axiale Deformationen des Rotors und in besonderem Maße des den Rotor einschließenden Gehäuses, an welchem die Statormagnete befestigt sind, eine beträchtliche Dejustierung des Lagersystems bewirken können, so daß unter ungünstigen Bedingungen der Spielraum in der magnetischen Ablenkzelle überschritten wird. Die genannten Deformationen treten insbesondere infolge von Druckbelastungen des Gehäuses auf, wenn dieses beispielsweise evakuiert wird, oder infolge von thermischen Belastungen, die in erster Linie vom Antriebsmotor für den Rotor verursacht werden. Andererseits können antriebsbedingte oder durch Gasreibung bei hohen Rotationsgeschwindigkeiten verursachte Erwärmungen des Rotors eine Längenänderung des Rotors und damit eine Dejustierung der magnetischen Lagerungen verursachen.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine magnetische Lagerung zu schaffen, deren Justierung weitergehend unempfindlich gegen Deformationen ist, ohne daß der Lageraufbau aufwendig wird.

Diese Aufgabe der Erfindung wird bei einem Magnetlager der eingangs beschriebenen Art durch die im Patentanspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst. Das erfindungsgemäße Lager weist nur noch zwei in sich ge-

schlossene Lagerkomponenten auf, wobei die statische Justierung durch ein Schwerpunktlager mit vergleichsweise hoher magnetischer Steifigkeit bestimmt wird, während das Stabilisierungslager mit im Vergleich zum Schwerpunktlager geringerer Steifigkeit im wesentlichen die berührungsfreie Stabilisierung des Systems übernimmt. Das Schwerpunktlager trägt den weitaus größten Teil des Rotorgewichts und ist im Bereich des Rotorschwerpunkts angeordnet. Diese Aufteilung der tragenden und stabilisierenden Funktion auf zwei unterschiedliche magnetische Lager ist in seiner Wirkungsweise vergleichbar mit der Aufteilung der tragenden und stabilisierenden Funktionen von Tragfläche und Leitwerk bei Flugzeugen.

Dadurch, daß das Schwerpunktlager die Rotormasse trägt, wird auch die Gleichgewichtslage des Rotors in axialer Richtung überwiegend vom Schwerpunktlager bestimmt, während deformationsbedingte Verschiebungen des Stabilisierungslagers wegen dessen geringer Steifigkeit nur einen unbedeutenden Einfluß auf das Rotorgleichgewicht haben. Bevorzugt beträgt das Verhältnis der Lagersteifigkeit zwischen Schwerpunktlager und Stabilisierungslager mindestens 10 : 1.

Die Schwerpunktlagerung des Rotors macht auch fliegende Lagerungen von Maschinenteilen möglich. Eine solche Lagerung bietet neben der für die Handhabung des Systems günstigen Montagefreiheit an der lagerfreien Seite den Vorteil, daß alle Komponenten der magnetischen Lagerung in einem kurzen und deshalb formstabilen Gehäuse untergebracht werden können, im Gegensatz zu den bekannten Lagerungen, bei denen die Lagerkomponenten über entsprechend große Gehäuseteile verbunden werden müssen, deren Deformationen sich, wie vorbeschrieben, auf die Magnetlagerung negativ auswirken.

Die hohe Lagersteifigkeit im Schwerpunktlager wird durch Anordnung eines ersten Satzes von Rotor- und Statormagnetringen und zumindest einem weiteren Satz von Magnetringen erreicht, die eine mit dem ersten Satz entgegengesetzte axiale Magnetisierung aufweisen, wobei Stirnflächen der Rotor- bzw. Statormagnetringe des einen Satzes mit Stirnflächen der Rotor- bzw. Statormagnetringe des anderen Satzes in einer Ebene liegen. Aufgrund der auf diese Weise erzeugten magnetostatischen Gegebenheiten durch die Anordnung von konzentrischen Polflächen entgegengesetzter Polarität an den Lagerspalten läßt sich die Steifigkeit eines Lagers im Verhältnis zum eingesetzten Magnetmaterialvolumen überproportional steigern.

Die Ausbildung von konzentrischen, in einer Ebene liegenden Polflächen kann in vorteilhafter Weise auch durch lokal unterschiedliche Magnetisierung einer aus einem Stück gefertigten Scheibe erreicht werden, Patentanspruch 2. Mit Scheiben dieser Art lassen sich die mechanischen Bearbeitungskosten senken und die Montagekosten der Schwerpunktlager verringern.

Die erfindungsgemäße Rotorlagerung ist insbesondere zur Lagerung einer Schwungscheibe geeignet, die als Energiespeicher für unterbrechungsfreie Stromversorgungen oder für Chopper mit hoher Zeitauflösung dient. Schwungscheiben dieser Art werden aus hochfestem Material gefertigt, beispielsweise aus einem für höchste Drehgeschwindigkeiten ausgelegten Faserverbundmaterial. Die Rotorlagerung ist auch für Rotoren einer axial und/oder radial verdichtenden Gasturbine, insbesondere einer Turbomolekularpumpe zur Erzeugung von Hochvakuum einsetzbar. Bei dieser Anwendung kommt der erfindungsgemäßen Lagerung aufgrund ih-

res einfachen Aufbaus und der hieraus folgenden hohen Betriebssicherheit eine besondere Bedeutung für die Vakuumprozesstechnik zu. Eine weitere Verwendung ist für Spinturbinen gegeben. Für Spinturbinen ist insbesondere die kostengünstige Herstellbarkeit des Magnetlagers von Vorteil.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Die Zeichnung zeigt im einzelnen

Fig. 1 die magnetische Lagerung, Grundaufbau;

Fig. 2a das Schwerpunktlager mit zwei entgegengesetzt magnetisierten Magnettringsätzen;

Fig. 2b das Schwerpunktlager mit Magnetscheiben, die zwei konzentrisch angeordnete, ringförmige Zonen entgegengesetzter axialer Magnetisierung aufweisen;

Fig. 3 das Stabilisierungslager;

Fig. 4 die radiale Anlaufbuchse.

Fig. 1 zeigt schematisch den Grundaufbau der erfindungsgemäßen magnetischen Lagerung. Ein Rotor 1, bestehend aus Welle 2 und an der Welle befestigtem Maschinenteil 3 (beispielsweise ein Schwungrad), befindet sich mit seinem Schwerpunkt 4 innerhalb eines Schwerpunktlagers 5. Das Schwerpunktlager 5 ist an einem Lagergehäuse 6 befestigt, das auch ein Stabilisierungslager 7 trägt. Am Lagergehäuse 6 ist für die Abtastung der axialen Rotorposition ein Sensor 8 angebracht, der mit dem Eingang eines Regelverstärkers 9 verbunden ist. Der Ausgangsstrom des Regelverstärkers 9 beaufschlagt die im Stabilisierungslager 7 befindlichen Ablenkspulen in der Weise, daß bei axialen Abweichungen des Rotors von seiner vorgegebenen berührungsfreien Soll-Position eine der Abweichung entgegengerichtete Rückstellkraft auf den Rotor ausgeübt wird. Der Regelverstärker 9 wird dabei vorzugsweise so ausgelegt, daß der Rotor 1 eine axiale Position einnimmt, in welcher alle im Schwerpunktlager 5 wirkenden statischen Axialkräfte ausgeglichen sind, so daß unter diesen Bedingungen der Ausgangsstrom des Regelverstärkers zu Null wird. Dies trifft bei ausreichender Dimensionierung des Schwerpunktlagers 5 und des Stabilisierungslagers 7 insbesondere auch für den Fall einer vertikalen Achslage des Gesamtsystems zu, in welcher außer den vom Schwerpunktlager 5 und vom Stabilisierungslager 7 erzeugten magnetostatischen Axialkräften zusätzlich die Gewichtskraft des Rotors 1 aufgefangen werden muß. In diesem Falle sind die nach oben gerichteten Magnetkräfte um die Gewichtskraft größer zu bemessen als die nach unten gerichteten Magnetkräfte. Das Maschinenteil 3 ist an der Welle 2 derart anzukoppeln, daß der Schwerpunkt des Rotors 1 möglichst mit der Mitte des Schwerpunktlagers 5 zusammenfällt.

Fig. 2a zeigt einen Halbschnitt durch ein Ausführungsbeispiel des Schwerpunktlagers 5. Das Schwerpunktlager weist konzentrisch angeordnete Rotormagnetringe 16a, 16b, 18a, 18b und Statormagnetringe 17a bis 17c und 19a bis 19c auf, die sich in ihren Abmessungen entsprechend und innerhalb eines vorzugsweise aus Eisen oder einem anderen magnetisch leitenden Werkstoff gefertigten Schwerpunktlagergehäuse 12 in der Weise hintereinander angeordnet sind, daß sich die Rotormagnetringe jeweils zwischen Statormagnetringen befinden. Die Rotormagnetringe sind mittels einer Stützscheibe 13 an der Welle 2 befestigt. Die Stirnseiten der Rotor- und Statormagnetringe stehen sich in engem axialem Abstand gegenüber.

Die Rotor- und Statormagnetringe weisen jeweils zwei Magnettringsätze auf, wovon ein in radialer Richtung jeweils außen liegender Satz von Rotormagnetrin-

gen 16a, 16b und Statormagnetringen 17a, 17b, 17c einem innen liegenden Satz von Rotormagnetringen 18a, 18b und Statormagnetringen 19a, 19b, 19c benachbart angeordnet ist. Der außen liegende Satz der Magnetringe 16, 17 und der innen liegende Satz der Magnetringe 18, 19 sind jeweils in entgegengesetzter Richtung axial magnetisiert. Die Stirnflächen aller Magnetringe liegen bei den Rotor- bzw. Statormagnetringen jeweils in einer Ebene.

Alle Rotor- und Statormagnetringe des Schwerpunktlagers 5 bestehen aus hartmagnetischem Material und sind in achsparalleler Richtung magnetisiert. Die Rotor- und Statormagnetringe sind an der Welle 2 bzw. im Schwerpunktlagergehäuse 12 derart befestigt, daß sie in bezug auf ihre Magnetisierungsrichtung 14, die in Fig. 2a und 2b mit Pfeilen angedeutet ist, jeweils hintereinander angeordnet sind. An den Lagerspalten zwischen Stator- und Rotormagnetringen stehen sich somit entgegengesetzte Magnetpole gegenüber, zwischen denen sich ein starkes Magnetfeld mit anziehender Wirkung aufbaut. Die Anziehungskräfte nehmen mit enger werdenden Lagerspalten stark zu. Bei Mittelstellung der Rotormagnetringe zwischen den Statormagnetringen ergibt sich ein Kräftegleichgewicht, das jedoch äußerst instabil ist und nur durch entsprechende Auslegung des Stabilisierungslagers 7 (Fig. 3) aufrechterhalten werden kann.

Das zwischen den Stirnflächen der Rotor- und Statormagnetringe herrschende Magnetfeld bewirkt eine hohe radiale Rückstellkraft zwischen den Magnetringen. Die Magnetringe müssen mindestens so bemessen sein, daß das Rotorgewicht aufgefangen werden kann. In axialer Richtung können vergleichbare Rückstellkräfte durch eine axiale Verschiebung des Rotors erzeugt werden, so daß insbesondere bei vertikaler Achslage die aus den veränderten Lagerspalten resultierenden magnetischen Differenzkräfte den Gewichtsausgleich bewirken.

Bezogen auf das eingesetzte Magnetmaterialvolumen bietet die Anordnung der Magnetringe nach Fig. 2a eine um 50% höhere Lagersteifigkeit gegenüber einer Lageranordnung, wie sie beispielsweise in DE 34 09 047 A1 beschrieben ist. Ohne wesentliche Vergrößerung des Außendurchmessers des Schwerpunktlagergehäuses 12 läßt sich somit bei unveränderter Bauhöhe ein Vielfaches an Kräftereserve im Schwerpunktlager 5 installieren.

Eine noch weitergehende Ausnutzung des eingesetzten Magnetmaterials bietet die in Fig. 2b wiedergegebene Variante des Schwerpunktlagers 5. Bei diesem Schwerpunktlager sind anstelle der in Fig. 2a wiedergegebenen einander angepaßten Rotor- und Statormagnetringe Scheiben 20a, 20b, 21a, 21b aus hartmagnetischem Material eingesetzt, die jeweils durch Pfeile markierte konzentrische ringförmige Zonen entgegengesetzter Magnetisierung aufweisen und derart aufeinander abgestimmt ausgebildet und eingesetzt sind, daß die permanentmagnetischen Zonen der Scheiben — analog zur Lageranordnung nach Fig. 2a — im äußeren und inneren Bereich in entgegengesetzter Richtung magnetisiert sind. Bei dieser Magnetlagerausführung sind vorzugsweise alle Scheiben auf Eisenrückstützen 22, 23 montiert, wodurch die Wirkung der permanentmagnetischen Zonen weiter gestaltet werden kann. Im Ausführungsbeispiel nach Fig. 2b ist ein alle Rotormagnetringe in ihrer gesamten axialen Länge umfassender Schutzring 24 aus unmagnetischem Material hoher Zugfestigkeit vorgesehen.

Die äußeren Rotormagnetringe 16a, 16b sind im Ausführungsbeispiel in Schutzringen 15 aus einem Material mit hoher Zugfestigkeit eingepaßt, damit sie bei hohen Drehgeschwindigkeiten nicht durch Zentrifugalkräfte zerrissen werden. Als Material für die Schutzringe 15 eignen sich neben hochfesten Edelstahl- oder Titanlegierungen insbesondere faserverstärkte Kunststoffe, wie Glas-, kohlenstoff- oder auch borfaserverstärkte Kunststoffe.

Fig. 3 zeigt den Aufbau des Stabilisierungslagers 7. Im Gehäuse 25 des Stabilisierungslagers 7 sind zwei elektrische Spulen 26a, 26b eingelassen, die mit zwei an der Welle 2 befestigten Ringmagneten 27a, 27b aus permanentmagnetischem Material in der Weise zusammenwirken, daß auf den Rotor 1 bei axialer Mittelstellung der Ringmagnete im Gehäuse 25 eine Axialkraft übertragen wird, deren Richtung und Betrag eindeutig und linear der Richtung und dem Betrag des die Spulen durchfließenden Stroms zugeordnet sind. Der Umlaufsinus des Stroms in den Spulen 26a, 26b ist dabei jeweils entgegengesetzt gerichtet.

Die Ringmagnete 27a, 27b des Stabilisierungslagers 7 sind auf Stützscheiben 28a, 28b montiert und in Schutzringen 29a, 29b aus einem unmagnetischen Material hoher Zugfestigkeit eingefaßt. Zwischen die Ringmagnete 27a, 27b ragt eine mit dem Stator fest verbundene Scheibe 30 aus elektrisch gut leitendem Material, vorzugsweise aus Kupfer, hinein. In der Scheibe 30 werden bei radialen Vibrationen des Rotors 1 durch die Ringmagnete 27a, 27b elektrische Wirbelströme induziert. Die in der Vibrationsbewegung des Rotors 1 enthaltene mechanische Energie wird dabei induktiv auf die Scheibe 30 übertragen und in Wärme umgesetzt. Auf diese Weise werden die Vibrationen des Rotors wirksam gedämpft.

Durch die Drehbewegung des Rotors 1 um seine Rotorschule 31 werden nur vernachlässigbare kleine Wirbelströme in der Scheibe 30 erzeugt, weil die magnetische Durchflutung der Scheibe sich bei dieser Bewegung nicht verändert. Die Scheibe 30 weist außerhalb des von den Ringmagneten 27a, 27b gebildeten Spaltens einen Kragen 32 auf, der den äußeren Kurzschluß für die Wirbelströme verbessert, so daß die Vibrationsdämpfung effektiver wird.

Zur radialen Begrenzung der Bewegungsfreiheit der Welle 2 ist in Fig. 4 eine Anlaufbuchse 48 gezeigt, die am Schwerpunktlagergehäuse 12 befestigt ist. Die Anlaufbuchse 48 besteht vorzugsweise aus einem Kunststoff mit guter Gleiteigenschaft, z. B. aus PTFE oder Polyimid mit eingelagerten Gleitstoffen.

Patentansprüche

1. Magnetische Lagerung für einen Rotor, mit Permanentmagneten zur Aufnahme der radialen Lagerkräfte, mit einem Stabilisierungslager, das den Rotor in einer berührungslosen Lage gegenüber einem Stator hält, wobei am Stator angebrachte elektrische Spulen mit am Rotor befestigten magnetisierbaren Teilen zusammenwirken, und mit einer Wirbelstromdämpfung der Radialbewegungen des Rotors (1) gegenüber dem Stator, gekennzeichnet durch

— ein im Schwerpunktbereich des Rotors angeordnetes permanentmagnetisches Lager, im folgenden Schwerpunktlager (5) genannt, das neben einem ersten Satz von Rotor- und Statormagnetringen (16a, 16b, 17a, 17b, 17c) mindestens einen weiteren Satz von Magnetrin-

gen (18a, 18b, 19a, 19b, 19c) mit zum ersten Satz entgegengesetzter axialer Magnetisierung aufweist, wobei Stirnflächen der Rotor- bzw. Statormagnetringe (16a, 16b, 17a, 17b, 17c) des einen Satzes mit Stirnflächen der Rotor- bzw. Statormagnetringe (18a, 18b, 19a, 19b, 19c) des anderen Satzes in einer Ebene liegen,

— und ein zweites permanentmagnetisches Lager, im folgenden Stabilisierungslager (7) genannt, mit vergleichsweise geringer Steifigkeit, welches die elektrischen Spulen (26a, 26b) für die axiale Stabilisierung des Rotors (1) und zusätzlich die Wirbelstromdämpfung enthält.

2. Magnetische Lagerung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Magnetringe Scheiben (20a, 20b, 21a, 21b) aus hartmagnetischem Material mit mindestens zwei konzentrischen, ringförmigen Zonen entgegengesetzter axialer Magnetisierung eingesetzt sind.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

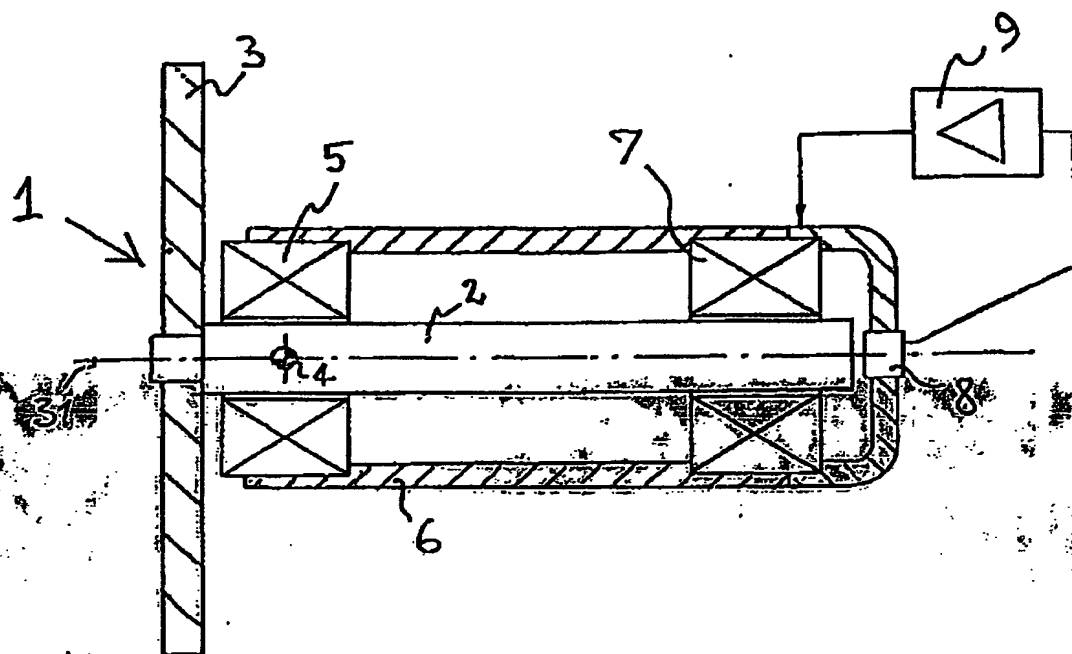


Fig. 1

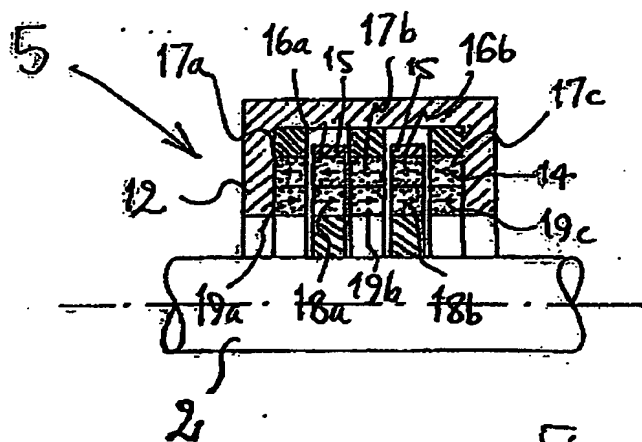


Fig. 2a

ZEICHNUNGEN SEITE 2

Nummer:

DE 39 09 331 C2

Int. Cl.:

H 02 K 7/06

Veröffentlichungstag: 28. März 1990

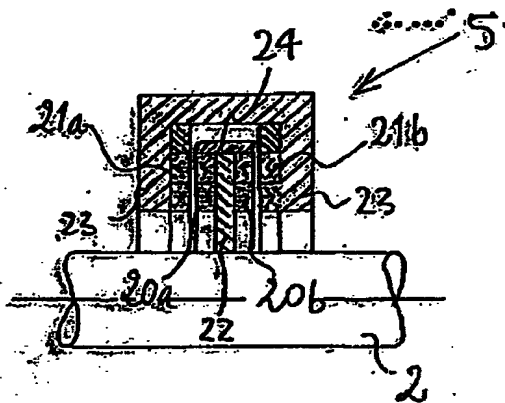


Fig. 2b

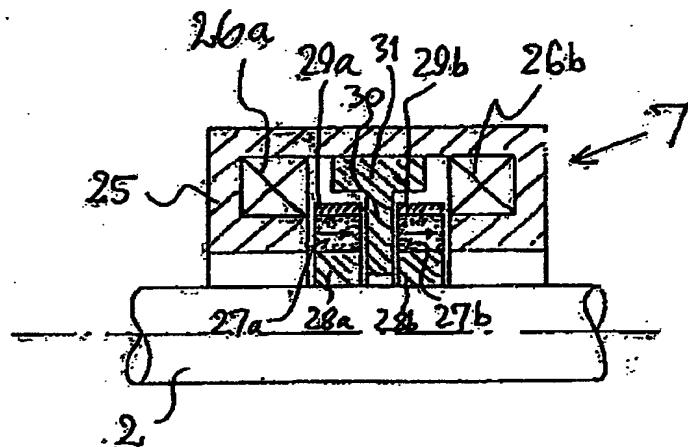


Fig. 3

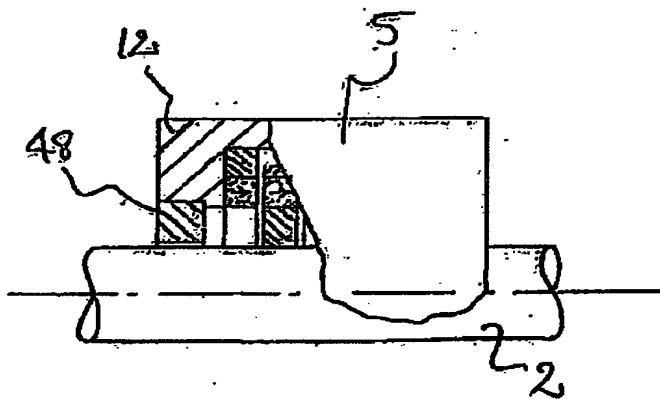


Fig. 4